色彩の知覚とその心理効果*

大山 正**

Perception of colors and their psychological effects

Tadasu OYAMA

1. 光線には色がついていない——色彩は感覚である

The Rays are not coloured とはニュートンが、その著『光学——光の反射、屈折、回折、および色に関する論述』(1704)中で述べている言葉である。色の科学的研究はニュートンに始まるといってよいであろう。彼がプリズムを用いて太陽の光を7色のスペクトルに分散させたことは余りにも有名であるが、彼が分散したスペクトル光をレンズとプリズムを用いて集光して、再び白色の光に戻す実験をしたことはそれほど知られていない。彼は更に、その際、スペクトル中の光をスリットを用いて選択して通過させ、その一部の光のみをレンズで集光させることによって混色 color mixture の実験を行っている。例えばスペクトル中の赤光と緑光を集光させるとあざやかな黄の光ができる。しかし、これは、スペクトル中の黄色部分と物理的に異質なものであることは、第3のプリズムを通すことによって確かめることができる。混色で出来た黄光は再び赤と緑の光に分散するが、スペクトル中の黄光は何度プリズムを通して分散しない。

ニュートンは、このような混色実験の結果に基づいて、光線と色とを区別し、色は感覚であり、光線の性質ではないことを「光線には色がついていない」という言葉で表した。彼は、赤い光、青い光という呼び方は不相当で、正確には、赤をつくる光線 (Red-making Ray) 青をつくる光線などと呼ぶべきであると強調している。彼は、光線と色の感覚の関係を空気の振動と音の感覚の関係をたとえ、その区別を明確に論じている。

赤、緑、青の3色の光の混合によってほとんどすべての色がつくり出せることは、その後の厳密な定量的研究によって確かめられている。(ほとんどすべての色と言ったのは、青緑など一部の色は混色では鮮やかさが不十分となるからである。)この混色の事実が今日の色彩科学の基礎となっている。すなわち、色覚の3色説、RGB・XYZ表色系、3色信号によるカラーテレビ・システム等の基本となっている。ただし、3色混合によって、他のさまざまな色と等色するのは、正常色覚の性質であり、色覚異常者では2色の混合で他のさまざまな色と等色できる場合がある。

2. 色の3属性

2.1 色相・明るさ・飽和度(彩度)

スペクトルの光は、波長に応じて、堇から赤までに変化する。このような色の違いを色相とよぶ。スペクトルの両端の堇と赤の光を混色すると紫が生じる。この紫は、スペクトル中にはない色で、堇または青の光と赤の光の混合で生じ、混合の比率に応じて、青紫から赤紫までに色相が変化する。ところでこの紫を間に置くと、スペクトルの両端の色相は比較的似ていることに気づかれる。堇は青にやや赤みが加わった色である。スペクトルの7色に、スペクトル外の紫を加えると、それらの色相を円環状に並べることができる。これが、色円 color circle といわれるものである。赤、橙、黄、緑、青、藍(紫青)、堇(青紫)、紫、と循環して赤にもどる。こう並べると色相が次第に連続して変化していることに気づく。

また、どの色相でも、色相が一定のままで明るさが変化した色がある。光の色であれば、鮮やかさもほぼ一定のまま、光の強度に応じて明るさが変化する。物体の色の場合、明るさが変わるとともに、鮮やかさも変化する。たとえば、赤では、明るく鮮やかな赤い物体色とか、暗く鮮やかな赤の物体色は存在しない。非常に鮮やかな赤は中程度の明るさに限られる。同様に、最も鮮やかな黄は明るく、もっとも鮮やかな紫はかなり暗い。これは、人間の眼の視感度とも関連している。なお物体色の明るさは、しばしば明度ともよばれる。

飽和度 saturation また彩度とは、色の鮮やかさを示している。スペクトル中の単色光に白色光を混合すると、一般に、飽和度が低下する。飽和度にほぼ対応する刺激変数は、純度(正確には輝度純度 colorimetric purity, p)である。これは、混合光の輝度中の単色光の輝度成分の比率を示している。

$$p = L_{\lambda} / (L_w + L_{\lambda})$$

ここで L_w , L_{λ} はそれぞれ混合する白色光と単色光の輝度を示している。

一般に、色は、以上に述べた、色相、明るさ、飽和度の3つの次元に沿って変化する。これらを色の3属性とよぶ。これらの3属性のうち色相は波長に、明るさは輝

* 原稿受付 1996年9月30日

** 日本大学文理学部心理学科

度また反射率に、飽和度は純度に、というようにそれぞれ刺激の特性にほぼ対応しているが、その対応関係は完全ではない。スペクトルの青緑領域と橙領域では同一波長でも高輝度となると青味または黄味を帯びやすく、低輝度では緑味または赤味を帯びやすい傾向を示す。このベツォルト・ブリュッケ現象は、輝度が変わると波長と色相の対応関係が変わってくることを示している。また純度が変わっても、波長と色相の対応関係が変わってくる。これをアプニー効果という。

2.2 色立体

色相を円、明るさをその円の中心を垂直に貫く軸、飽和度を円の中心からの距離で表わすと、円筒座標系によってすべての色を3次元空間中で配置することができる。これを色立体 color solid と呼ぶ。口絵1に示す、マンセルの考案した色立体はその代表的な例である。主として物体色を表わすのに用いられる。色相 hue、明度 value、彩度 chroma をもって示される。色相は、赤(R)、黄赤(YR) (ほぼ橙に相当)、黄(Y)、緑黄(GY) 緑(G)、青緑(BG)、青(B)、紫青(PB) (ほぼ堇に相当)、紫(P)、赤紫(RP) の10色相が円環状に並び、さらに、それぞれ10等分される。JIS (日本工業規格) にも採用されているが、JISでは緑黄でなく黄緑、紫青を青紫とよぶ。ただし記号はGY、PBのままである。

口絵1のように、このマンセル色立体を放射状に切った垂直断面上には、同一の色相をもつさまざまな色が並び、上部に行くほど明度が高く、中心よりはなれるほど彩度が大となる。同じ色相、同じ明度で彩度のみが異なる色が、同じ高さに水平に並び、また同じ色相、同じ彩度で明度のみ異なる色が垂直に並び。

2.3 感覚尺度

以上に述べた色相、明るさ、飽和度(彩度)は、おおまかに言えば、光の波長、光の強度(輝度)、純度に対応するが、その数量的対応関係は単純な線型関係ではない。そこで感覚の量的変化を適切に表す感覚尺度作成の問題が生じる。第1の光の強度と明るさの間には、フェヒナーの対数法則やスティーヴンスのべき法則の適用が試みられている。第2の波長と色相の間の関数関係は複雑であり、単純な数式では表わせない。目で見て色相の差が区別できる最小の限界、すなわち弁別閾(いき)の値は弁別条件によっても、波長領域によっても異なる。好条件下では、わずか2ナノメートルの差も目で区別できる。弁別しやすい波長領域は、420、470、570ナノメートル付近で色相の変換点に相当し、青、緑、赤などの主要色相のそれぞれの波長領域の中央部分では一般に弁別が悪くなる。スペクトルに各主要色相がしめる幅も一定していない。緑や赤は幅広く、黄では幅せまい。第3の純度と彩度の間の数量的関係についても、べき関数などの関数関係が提案されている。

前述のマンセル色立体では、結果的に色相、明度、彩度の変化がほぼ等歩度になるように経験的に等度が決め

られて、XYZ系色度座標(内川論文参照)との関係が数値化されている。

3. 色の見え方

標準的な状態で観察すれば、光や物の色は、波長、純度、輝度などから予想されるような色相、飽和度、明るさに見えるが、色の見え方はそれらの刺激変数によって一義的に決まるわけではない。観察者側の条件や刺激側の時間・空間的条件により、色の見え方は種々変化する。また、色残像のように、その時点ではまったく外部からの視覚刺激がなくても、色が見える場合すらある。以下では色の現れ方の分類と色の見え方を規定する重要な要因である色順応と色の対比について述べよう。

3.1 色の現れ方

同じ青でも、布の青と、空の青、液体の青、色ガラスの青などでは、それぞれ現れ方が異なる。カットは次のような現れ方(mode of appearance)の種類を挙げている。

(1) 面色(film color): 青空の色や光学器械中の色の現れ方。距離感が不確定で、視線に垂直にひろがり、かたい表面は感じられず、やわらかく、突き入ることができる印象を与えるが、3次元的な奥行きはなく、ほぼ平面的である。衝立の小穴などを満たす色がこの面色で現れるので、開口色(aperture color)とよばれることもある。

(2) 表面色(surface color): 色紙や通常の不透明の物体の表面の色で、距離感は確定的で、表面は硬く、視線に対してさまざまな傾きと曲面をも示す。表面色の色、明るさは照明の色、明るさと分離して知覚できる。色と明るさの恒常性(照明の色や強度が変わっても、物の色や明るさがほぼ一定に知覚される傾向)が成立する。物体色(object color)ともよばれる。

(3) 透明面色(transparent film color): 色ガラスや回転中の扇風機の羽根を通して他の物体を見るとき、背後の物体の色は定位の確立した表面色に見え、色ガラスや回転中の扇風機の羽根の色は定位の不確かな面色としてかつ透明に見える。これを透明面色という。

(4) 透明表面色(transparent surface color): 両眼で本を読んでいる際に、片眼の前に手をおくと、手を通して本の印刷された文字が見える。その際、手の表面の色は明確な定位をもつ表面色で、かつ透明に見える。これを透明表面色という。

(5) 空間色(volume color): ガラス器の中の着色液体の色のように空間に拡がった色。

(6) 鏡映色(mirrored color): みがかれた床や水面に他の対象が映っている場合の対象の色。床や水面の色の背後に現れる。

(7) 光沢(luster): 通常、表面色に囲まれ、それよりずっと明るい部分に現れる。両眼にうつる明るい部分の位置が互いにずれているときに、光沢感が顕著である。

(8) 光輝 (luminosity): みずから光を発しているような見え方。周囲より輝度が高い必要があるが、実際に光を発している必要はないことは、レンブランドの作品のように絵画によって光輝が示せることでもわかる。

(9) 灼熱 (glow): 溶解した鉄や電気ストーブのニクロム線のように、表面だけでなく、内部からも光を発しているような印象の色の現れ方。やわらかく、つきとおせる感じを与える。

3.2 色順応

同じ色をつづけて見つめていると、その色の飽和度が次第に減少してゆき、その後、視野の同じ場所に他の色を提示すると、通常とは異なった色に見える。この現象を色順応 (color adaptation) とよぶ。色順応の過程において、飽和度 (彩度) は、はじめ急激に、その後次第にゆるやかに低下していくが、色味を完全に失って無彩色になるようなことはなかった。

色順応下では、物の色の見え方が、全般的に変って見える。ある色をもつ照明下にしばらく居ると、目はその色に順応する。照明色と同じ色の光を反射する物体が白色に見えるようになり、通常は白色に相当する一様な分光分布の光を反射する物体は、かえって照明光の色の補色に色づいて見える。白色の物体をその照明下におくと、照明光の色光を反射するが、目の色順応のため、白色に見える。その他の色の物体も、色照明下では反射する光の分光分布が変ってくるが、見かけの色はそれほど変わらない。色の恒常性 color constancy である。白熱電灯と蛍光灯では分光分布が大きく違うが、それぞれの照明下での物体の色の見え方はそれほど違わないのは、そのためである。色づいたサングラスをかけた場合も色順応が生じ、色の恒常性が成立する。

3.3 色の対比と同化

灰色の小片を赤色の背景の上におくと淡く緑色を帯び、青色の背景の上におくとほのかに黄に色づく、(口絵2参照)。また、色のついた小片を、それと異なった色相の背景の上においた場合も、色がやや変わって見える。多くの場合、背景の補色の色が加わって見える。これらの現象を色の対比 color contrast とよぶ。色の対比にも、この例のような同時対比とともに継時対比もある。しかし、継時対比は上述の色順応のひとつの現われともいえるから、以下では同時対比についてのみ述べる。

色の対比については、キルシュマンの法則としてつぎの5項目が提出されている。

- (1) 誘導領域に比べて検査領域が小さいほど色の対比は大きい。
- (2) 色の対比は、誘導・検査両領域が空間的に分離していても生じるが、その空間間隔が大きくなるほど対比効果が減少する。
- (3) 誘導領域が大きいほど対比効果は大きくなる。
- (4) 明るさの対比が生じないか、あるいは最小のときに、色の対比は最大となる。

- (5) 明るさが等しいとき、誘導領域の飽和度が大きいほど対比も大となる。

ここで、誘導領域とは、上例の色のついた背景に相当し、検査領域とは、その上におかれた小片に相当する。

ここに述べられた5項目は大部分、その後の実験的研究によって確認されているが、(4)については否定的の結果が得られている。むしろ、明るさの対比が大なるときに、色の対比も大になる傾向が認められている。

色の対比は、一般に、周囲の色の差を強調するように働くが、口絵3のように色の縞が描かれた灰色部分が、縞の色に近付いて見えることがある。これを色の同化 color assimilation という。細い縞が反復する際に生じやすい。

3.4 主観色

主観色 (subjective color) とは、客観的には色はなく、白と黒のパターンにすぎないものが色づいて見えるというので、この名がある。精神物理学の創始者であるフェヒナーがすでに研究していたので、フェヒナー色ともいう。有名なのは、図1のようなベンハム (Benham) のこまである。このような円盤を回転させると、適当な回転速度の場合に、円弧の間の部分に淡い色が現われ、中心からの距離に応じてその色相が変わる。この種の主観色はいろいろな模様の円盤で観察することができる。白黒テレビの受像器の同期をはずした場合にも同じような色を観察できる。これは、眼に到達する光は全く波長の偏りがない白色光であっても、その時間空間的パターンによって、色が見える例である。

図1 ベンハムのこま

4. 色覚説

以上述べて来たような色覚の基礎となるメカニズムに関する学説としてはヤング・ヘルムホルツの3色説 Young-Helmholtz trichromatic theory とヘリングの反対色説 Hering opponent-color theory がよく知られている。

4.1 3色説

3色説によれば、網膜中には3種の錐体があり、それぞれ、長（赤）、中（緑）、短（青）の波長領域の光に感度が高く、それぞれの錐体が伝える興奮の大きさの比率関係によって、さまざまな色の感覚が生じるとされる。そのうちの1種の錐体がかばらば興奮し、他の2種がほとんど興奮しなければ、当然、赤、緑、または青の感覚が生じる。また、2種の錐体が同程度に興奮し、他の1種があまり興奮しなければ、黄、青緑、または紫の感覚が生じる。たとえば、スペクトルの黄の部分の光が目到達した場合は、その波長は赤と緑の間であり、赤と緑の2種の錐体の感度のピークのいずれとも比較的近いので、それらの錐体を同時にある程度興奮させるが、青の錐体のピークからは遠いので青の錐体はほとんど興奮させない。この状態は上記のように黄の感覚を生じさせる。ところで赤と緑の光が同時に同じ網膜領域に到達しても、やはり赤と緑の錐体が同時に同程度興奮し、青の錐体がほとんど興奮しない。この状態は、上記の黄の光によって生じる興奮状態と同じであり、やはり黄の感覚が生じる。これが前述のように、赤と緑の混色により黄を感じる理由であると説明される。また、赤、緑、青の3種の錐体が同時に同程度興奮する場合は白の感覚が生じる。この状態は太陽光のように可視範囲のすべての波長を均等に含んだ光によっても生じうるし、赤、緑、青の単色光が同時に眼に到達しても生じる。これが赤・緑・青の混色により白が見えることの理由と説明される。さらに3種の錐体が種々の比率で興奮するときには、その比率に応じてさまざまな色の感覚が生じるとされる。この3色説は、混色の説明にとくに適した説である。

4.2 反対色説

反対色説では、赤、黄、緑、青、白、黒がそれぞれユニークな色で、その感覚の中に他の感覚が混在していないことを重視する。たとえば、黄は、赤と緑の混色で生じはするが、私たちが経験する黄の感覚の中には、赤味も緑味もまったく含まれていない。また、赤味と黄味を同時に持つ橙色とか青味と緑味を同時に持つ青緑色は存在するが、赤味と緑味を同時に持つ中間色はないし、黄味と青味を同時に持つ中間色はない。この点から、赤と緑、黄と青、白と黒はそれぞれ対立した色であり、同じ過程の反対の極と考える。すなわち、視覚系内に赤―緑、黄―青、白―黒の3種の反対色過程を仮定する。この説では、色順応は、この反対色過程が一方の極の方向にのみ続けて進行した状態と説明される。たとえば赤に対する順応は、赤―緑過程が赤方向に持続して進行した偏った状態であり、同方向にそれ以上の進行をすること（すなわち、さらに赤を知覚すること）はしだいに困難となり、逆方向である緑方向への復元（すなわち、緑の知覚）の生じやすい状態とされる。また色の同時対比は、隣接領域における反対色過程が偏って進行したため、当該領域でもその影響をうけて、同一過程が逆方向に進みやす

い状態として説明される。ジェームソンとハービッチは、この反対色説で仮定している赤―緑過程と黄―青過程の基本反応曲線を、心理学的実験によって求めている。

4.3 段階説

今日では、3色説も反対色説もそれぞれ生理学的根拠をもっている。3色説は、錐体内視物質の分光吸収特性の測定、ならびに微小電極による錐体内活動電位の記録によって、錐体レベルで実証されている。一方、反対色説は網膜中の水平細胞と外側膝状体の電気生理学的研究により支持されている。したがって、現在では、3色説と反対色説は相対立する学説ではなく、とり扱っているレベルが異なるにすぎないと考えられている。錐体レベルでは、3色説で仮定されているような過程が生じていて、その結果として得られた神経信号がつぎの段階で反対色の過程に変換されるという、段階説 stage theory が有力となっている。（西條論文参照）

5. 色彩の心理的效果

まず、**口絵4**のaとbを比べて頂きたい。aは通常の仕方で磁力線の密度分布を色表示したものであり、bは通常と反対の仕方で色表示したものである。目は自然に赤の部分に向く。aのように、赤が磁力線の密度が高い部分を表し、橙、黄と次第に密度が低くなり、青がもっとも密度が低いことは、説明がなくても、直観的にわかるし、自然に受け入れられるであろう。しかし、bのような表示は、不自然である。また**口絵5**の交通の混雑状態を示したものであるが、aのように赤が混んで青がすいた道路を示す方が自然で、bの逆は不自然である。色で温度を示す場合なら、赤が高温、青が低温、橙、黄、緑が色相順にその間に入るのが極めて自然である。色表示は、地下鉄の路線図のように単に区分けの記号に使われることもあるが、色は単なる記号以上の意味をもっている。

たとえば、暖色、寒色といわれるように色は温度感覚や「暖かさ」、「冷たさ」で象徴されるような感情の問題とも関連する。また進出色―後退色とよばれて、色は距離感覚にも影響を与えるし、物の大きさ、重さの判断にも影響する。

このような色の心理的效果は個人の主観的体験に現れるだけでなく、客観的方法により得られた科学的データとしても抱えることができる。

5.1 暖色と寒色

結論から先に述べれば、視覚的に色を与えただけで、温度判断を求めれば、通常いわれているように、赤、黄などの長波長色が暖かく、青を中心とした短波長色が冷たく感じられることは、多くの実験によりたしかめられているが、ある温度の物体や液体に手をふれ、皮膚感覚的にも温度を感じるとともに視覚によりその物体や液体の色を感じるという実験事態では、結果がまちまちとなる。

筆者らは、言語心理学研究や市場調査などに用いられ

ているオズグッドのセマンティック・ディファレンシャル法 (SD 法) (柳瀬論文参照) を用いて行った研究の一部としてこの問題を取りあげた。その結果では、日・米・台湾いずれの地域の人々も赤がもっとも温く、青がもっとも冷く、その間、色相順に温さ、冷さを感じていることが示された。

5.2 進出色と後退色

色によって観察者に向かって進出して見えるものと、後退して見えるもののあることは、いろいろの分野の学者によって研究がなされてきた。その結果、一般に長波長の色、赤、橙、黄などは進出し、短波長の青、藍などは後退することが報告された。波長の差による屈折率の差異による、眼球内の色収差がこの現象の原因と考える人が多かった。その中には、その水晶体の調節 (目のレンズである水晶体の変形による焦点距離の変化) におよぼす影響を媒介とするものと、両眼視差におよぼす影響を媒介とするものと2説があるが、色の感覚と関係なしに、レンズ系としての眼球内部の物理的現象として説明する点は共通している。

筆者らが小窓を通して見える色彩面 (その垂直の縁が見えている) ともう一つの小窓を通して見える垂直棒とが、同じ見かけの距離になるように被験者に調整してもらった実験結果では、赤が一番近く、青が一番遠く、その間、色相順に見かけの距離が変化することが、見事に示された。しかし、色覚異常者に被験者になってもらうと、色の弁別が困難な赤—黄—緑の間では見かけの距離の差がなく (赤と青との距離感の差は明確)、色の感覚と

関係しないという色収差説の予想とは異なっていた。

5.3 膨張色と収縮色

膨張色と収縮色という言葉があり、ときどき赤は青より大きく見えるなど、暖色—寒色と見かけの大きさが関係しているかのような記述が見られるが、明確な実験的根拠はないようである。

抽象画の先駆者といわれるカンデンスキーが、黄と青とを対立させて、それぞれ進出・後退運動とともに、遠心的運動と求心的運動を含むとの見解を述べたことが、一般に普及しているためかもしれない。しかし、これは、彼がたまたま、黄と青という暖色—寒色の対立とともに、明暗の対立を含んだ色を代表として選んだために混乱したのであろうが、明度の等しい赤と青と比較しても見かけの大きさの差はほとんど見出せない。

筆者らが、被験者たちに種々の色相や明度の充実円の見かけの大きさを、種々の直径をもつ白地に黒の輪郭円と比較してもらった結果においても、明度が高い充実円ほど大きく見える傾向は顕著に現れたが、明度が等しく色相だけ異なるものの間には見かけの大きさの差異はほとんど見出せなかった。

このような色彩の効果は、個人的な経験にもとづく連想などでは説明できない万人共通の傾向であり、色彩の感情効果、色のイメージ、シンボル性などの基礎となっているのと考えられる (柳瀬論文参照)。

参 考 文 献

大山正:『色彩心理学入門』(中公新書 1169) 中央公論社, 1994

口絵 1 マンセルの色立体
(日本色研事業提供)

口絵 2 色の対比。
同じ灰色が色に囲まると反対色を帯びて見える
(中央公論社刊 色彩心理学入門より)

口絵 3 色の同化。
右端と同じ灰色が色の縞にはさまれると色づいて見える
(中央公論社刊 色彩心理学入門より)

(a) ライン等高線表示: 磁力線
カラーグラディエーション: 磁束密度分布 (正常)

(b) ライン等高線表示: 磁力線
カラーグラディエーション: 磁束密度分布 (反転)

口絵 4 円筒コイルの作る磁束密度分布 (計算結果)
(株)日立製作所日立研究所提供)

(a) 通常表示 青, 橙, 赤の順で混んでいるところが赤

(b) 逆転表示 すいているところが赤

口絵 5 交通情報
(株)日立製作所日立研究所提供)